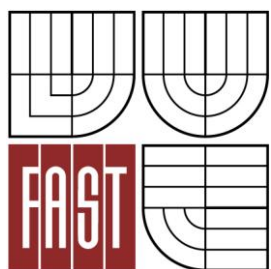




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

## **KONSTRUKCE SILA NA CUKR** SUGAR STORAGE TANK

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

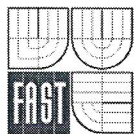
**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BC. LIBOR KOTÍK**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**doc. Ing. MILOŠ ZICH, Ph.D.**

BRNO 2015



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

**Studijní program** N3607 Stavební inženýrství  
**Typ studijního programu** Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia  
**Studijní obor** 3608T001 Pozemní stavby  
**Pracoviště** Ústav betonových a zděných konstrukcí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Diplomant** Bc. Libor Kotík  
**Název** Konstrukce sila na cukr  
**Vedoucí diplomové práce** doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.  
**Datum zadání diplomové práce** 31. 3. 2014  
**Datum odevzdání diplomové práce** 16. 1. 2015

V Brně dne 31. 3. 2014

.....  
prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.  
Vedoucí ústavu



.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## Podklady a literatura

1. Stavební podklady (půdorysy, řezy, pohledy).
2. Normy pro navrhování betonových konstrukcí ČSN a EN.
3. Zich M., Bažant Z., Plošné konstrukce nádrže a zásobníky, Akademické nakladatelství Cerm, 2010.
4. Zich M., kol., Příklady posouzení betonových prvků dle Eurokódů, Nakl. Verlag Daschofer, Praha 2011.
5. L. Grenčík: Betonové konstrukce II. SNTL/ALFA 1986.
6. D. Majdúch: Zásady vystužovania betónových konštrukcií. ALFA 1984.

## Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Vypracovat stavební a konstrukční návrh stavby sila na cukr dle předaných rozměrových, materiálových a zatěžovacích parametrů. Provést návrh nosných prvků. Řešení provést včetně nezbytné výkresové dokumentace (výkresy tvaru a výztuže). Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje průvodní zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

- P1. Použité podklady a varianty řešení
- P2. Výkresy - přehledné, podrobné a detaily (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce).
- P3. Stavební postup a vizualizace
- P4. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x).

Popisný soubor závěrečné práce (1x).

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě podle směrnic a 1x na CD.

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## **Abstrakt**

Předmětem diplomové práce je statický návrh a posudek předpjatého sila na 50000t cukru. Zpracován je výpočtový model ocelové střešní konstrukce a jeho působení na konstrukci sila. Je stanoveno zatížení od uskladněného cukru. Je proveden optimální návrh a posouzení na mezní stav použitelnosti a únosnosti betonářské výztuže a vodorovného předpětí stěny sila včetně lokálních namáhání. Dále je proveden návrh betonářské výztuže dna sila a sloupu v podsilí a posouzení na mezní stav únosnosti.

Součástí diplomové práce je i výkresová dokumentace, technická zpráva a vizualizace s postupem výstavby.

Cílem práce je, návrh hlavních konstrukčních částí na základě požadované skladovací kapacity sila, mechanických vlastností skladovaného materiálu a technologického vybavení.

## **Klíčová slova**

Silo, zásobník, železobeton, předpjatý beton, dodatečné předpjetí, stěna, skořepina, deska, sloup, ploché dno, protlačení, kotevní žebro, kabel, kanálek, kotva, únosnost, trhliny, napětí, vnitřní síly, zatížení, cukr, provzdušněné dno, vytápěná stěna, ocelová konstrukce, kuželová střecha.

## **Abstract**

The matter of this thesis is static design and examination of prestressed storage tank to 50000 tons of sugar.

Computational model of the steel roof structure is processed and its effect on the silos. Loads is provided of sugar. Optimal design is performed and assessment ultimate and serviceability limit state reinforced concrete and prestressing horizontal silo wall including local load. Next, it is performed the design of a reinforced concrete of the plane bed and post and assessment at the ultimate limit state.

The thesis is also drawing documentation, technical report and visualization of construction process.

The aim of this work is to the design of the main components based on the required storage capacity tank, mechanical properties of the stored material and technical amenities.

## **Keywords**

Silo, storage tank, reinforced concrete, prestressed concrete, post-tensioned, wall, shell, plate, column, plane bed, punching, anchor pillar, cable, channels, anchor, load-bearing capacity, cracks, stress, tension stress, internal forces, load, sugar, aeration bottom, heating wall, steel structure, conical roof.

...

### **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Libor Kotík *Konstrukce sila na cukr*. Brno, 2015. 16 s., 191 s. příl. Diplomová práce.  
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí.  
Vedoucí práce doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 16.1.2015



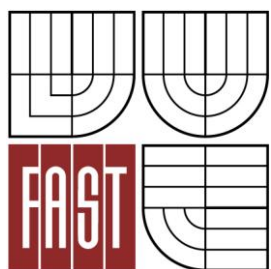
.....  
podpis autora  
Bc. Libor Kotík

**Poděkování:**

Na tomto místě bych rád poděkoval rodině a blízkým, kteří mě během studia podporovali a vedoucímu práce doc. Ing. Miloši Zichovi, Ph.D. za odborný dohled a rady při konzultacích.



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

**TECHNICKÁ ZPRÁVA**  
ENGINEERING REPORT

**KONSTRUKCE SILA NA CUKR**  
SUGAR STORAGE TANK

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BC. LIBOR KOTÍK**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**doc. Ing. MILOŠ ZICH, Ph.D.**

BRNO 2015



**OBSAH**

<b>1. ÚVOD A CÍL PRÁCE .....</b>	<b>str. 3</b>
1.1 ÚVOD.....	str. 3
1.2 CÍL PRÁCE.....	str. 3
<b>2. INFORMACE O STAVBĚ .....</b>	<b>str. 4</b>
2.1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE.....	str. 4
2.2 POPIS OBJEKTU.....	str. 4
<b>3. TECHNICKÉ INFORMACE .....</b>	<b>str. 5</b>
3.1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI CUKRU.....	str. 5
3.2 ROZMĚRY SKLADOVACÍHO PROSTORU .....	str. 5
3.3 ZALOŽENÍ .....	str. 5
3.4 NOSNÁ KONSTRUKCE VRCHNÍ STAVBY .....	str. 5
3.5 ZASTŘEŠENÍ.....	str. 5
3.6 POUŽITÉ MATERIÁLY .....	str. 6
3.7 KRYTÍ VÝZTUŽE.....	str. 6
<b>4. ZATÍŽENÍ .....</b>	<b>str. 7</b>
4.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ.....	str. 7
4.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ .....	str. 7
<b>5. TECHNOLOGICKÉ PODMÍNKY .....</b>	<b>str. 7</b>
<b>6. POŽADAVKY NA KONTROLU ZAKRÝVANÝCH KONSTRUKCÍ .....</b>	<b>str. 7</b>
<b>7. ZÁVĚR.....</b>	<b>str. 8</b>
<b>8. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>str. 8</b>
<b>9. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....</b>	<b>str. 11</b>
<b>10. SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>str. 16</b>

## **1. ÚVOD A CÍL PRÁCE**

### **1.1. ÚVOD**

Práce se zabývá návrhem nosné konstrukce sila na 50tisíc tun cukru.

### **1.2. CÍL PRÁCE**

Cílem práce je, návrh hlavních konstrukčních částí na základě požadované skladovací kapacity sila, mechanických vlastností skladovaného materiálu a technologického vybavení.

## **2. INFORMACE O STAVBĚ**

### **2.1. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE**

**Investor:**

Tereos TTD, a. s.  
Palackého náměstí 1  
294 41 Dobruška

**Místo a adresa stavby:**

Cukrovar České Meziříčí  
ul. Osvobození  
517 71 České Meziříčí

**Vypracoval:**

Bc. Libor Kotík  
Křižní 3  
594 01 Velké Meziříčí

### **2.2. POPIS OBJEKTU**

Místo stavby se nachází ve stávajícím areálu cukrovaru v Českém Meziříčí. Účelem stavby sila na 50tisíc tun cukru je rozšířit současnou skladovací kapacitu.

Přibližný vnější průměr válcového sila je 45,2m, výška betonové části 41,9m a výška horní hrany lucerny 61m.

Silo bude napojeno na nově zbudovaný dopravní most, který vede ze stávající elevátorové věže, ve které proběhne přesměrování dopravy cukru, buď do stávajícího sila na 10tisíc tun cukru, nebo do nového sila. Rychlost plnění sila bude 60t/hod.

Hlavní vyprazdňování sila bude zajišťovat 17 výsypek umístěných na dně sila ve dvou hlavních na sebe kolmých směrech. Pod výsypkami budou umístěny dopravní pásy, které povedou na balírnu. Tyto výsypky budou opatřeny hradítky se servopohonem. Rychlost vyprazdňování se předpokládá 60t/hod. V případě nutnosti úplného vyprázdnění sila bude využito dalších 52 výsypek. Tyto výsypky budou opatřeny hradítkem ovládaným ručně. Všechny výsypky budou opatřeny muzikusem s otvorem pro odstranění případně vniklé klenby.

Z důvodu spodního vyprazdňování bude silo spočívat na soustavě sloupů a vnější obvodové stěny tvořící tzv. podsílí.

Ve stěnách sila budou uloženy svislé topné kanálky, které budou silo i s obsahem vytápět na  $25^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Topné kanálky mají průměr 100mm a budou rozmístěny rovnoměrně po celém obvodu po cca 500mm. Topný okruh bude napojen na vstupu z podsílí a na výstupu v úrovni střešní konstrukce a následně rekuperován. Pro omezení tepelných ztrát bude silo zatepleno pěnovým polystyrénem tl. 200mm.

Skladovaný cukr bude provětráván upraveným vzduchem, pomocí kanálů ve dně sila.

### 3. TECHNICKÉ INFORMACE

#### 3.1. MECHANICKÉ VLASTNOSTI CUKRU

Silo je určeno ke skladování krystalového cukru běžné zrnitosti s obsahem prachových částic pod 0.25 mm max. 5 %. Předpokládaná teplota cukru na vstupu do sila v průměru 25 °C, odchylky max. ± 5 °C.

Norma<sup>[8]</sup> udává sypný úhel cukru 38°. Silo dle studie bude mít provětrávané dno a podle výrobce cukru se má pro výpočet uvažovat sypný úhel 29°.

Jmenovitá kapacita sila	50 000 t
Střední objemová hmotnost ukládaného cukru	825 kg/m <sup>3</sup>
Střední rozměr krystalu cukru v rozmezí	0.5 – 0.8 mm
Mezní hodnota vlhkosti uskladňovaného cukru	0,04-0,08%
Obsah popela	0,015%
Obsah redukujících látek	0.04%
Střední teplota cukru v silo:	25±2°C
Střední teplota provětrávacího vzduchu:	25±2°C
Střední vlhkost provětrávacího vzduchu:	30±3%r.v.

#### 3.2. ROZMĚRY SKLADOVACÍHO PROSTORU

Základní tvar konstrukce je dán především požadovanou skladovací kapacitou sila. Kapacita sila je 50 tisíc tun cukru.

Stanovení vnitřních rozměrů sila:

Objem skladovaného cukru:  $50\,000 / 0,825 = 60\,606,1\text{m}^3$

Investorem byly zadány přibližné rozměry sila.

Byl tedy zvolen vnitřní průměr sila 44,2m

Výška kuželového vrchlíku:  $\text{tg } 29^\circ = v / 22,1 \rightarrow v = 22,1 * \text{tg } 29^\circ = 12,25\text{m}$

Objem kuželového vrchlíku je  $(44,2/2)^2 * \pi * 12,25 / 3 = 6\,265,4\text{m}^3$

Výška styku stěny s cukrem:  $(60\,606,1 - 6\,265,4) / (22,1^2 * \pi) = 35,5\text{m}$

#### 3.3. ZALOŽENÍ

Založení objektu není obsahem této práce.

V podkladech této diplomové práce<sup>[2]</sup> je založení sila předběžně odhadnuto na velkopřůměrových vrtaných pilotách. Průměr jedné piloty 1,5m, hloubka 15m. Piloty budou vytvořeny pod každým sloupem v rastru 4,5x4,5m celkem 69ks. Pod obvodovou stěnou podsílí bude nutno navrhnout další piloty, o průměru soustavy pilot 45m.

Základová deska bude navržena pouze na pojezd mechanizace a užité zatížení v podsílí. Její tloušťka je dle podkladu odhadnuta 500mm.

#### 3.4. NOSNÁ KONSTRUKCE VRCHNÍ STAVBY

Světlá výška podsílí činí 3,6m.

Celé silo spočívá na soustavě 69 sloupů v rastru 4,5x4,5m a obvodové stěně s otvory pro vrata 2,6x2,6m v každé čtvrtině.

### SLOUP (S1)

Byl navržen žb čtvercový sloup 800x800mm s hlavicí. Hlavice má tvar komolého jehlanu o výšce 400mm a půdorysného rozměru v nejširším místě 1600x1600mm.

Sloup byl posouzen na mezní stav únosnosti interačním diagramem.

### OBVODOVÁ STĚNA PODSILÍ (ST1)

Tloušťka žb obvodové stěny podsilí byla odhadnuta na 600mm. Vnitřní průměr stěny je 22,2m.

Obvodová stěna není v této práci staticky posouzena.

### DNO - DESKA (D1)

Dno sila tvoří kruhová žb deska o průměru 45,6m. Je podporována sloupy a obvodovou stěnou podsilí. Její tloušťka byla navržena na 800mm. Do bednění desky budou vloženy ocelové výsyvky (OV1) z nerezové oceli (celkem 69ks). Na celém obvodu desky budou vytvořeny 2 ozuby pro uložení stěny sila (ST2). Po obvodu budou dále protaženy prostupy pro vytápění pláště sila. Dno sila bude dále tvořit nenosná nadbetonávka tl. 200mm do které se vloží bednění provzdušňovacích kanálů.

Deska byla posouzena na mezní stav únosnosti.

### STĚNA SILA (ST2)

Nosný plášť sila tvoří vodorovně předpjatá stěna (ST2). Pro stěnu byla zvolena varianta s proměnnou tloušťkou stěny 700 a 600mm, s výhodou že se stěna nemusí předepínat i svisle. Stěna bude spočívat na obvodě desky (D1), kde bude v místě uložení pomocí ozubů působit jako kloub, již ve fázi předpínání aby nedošlo k poškození topných kanálků v důsledku přetvoření stěny od předpětí. Stěna je vysoká 38m od vrchního líce ozubu. Spodní tloušťka stěny má tl. 700mm do výšky 6,9m dále má pak stěna tl. 600mm o celkové výšce 31,1m. Odskok změny tloušťky stěn je směřován do exteriéru. Vnitřní průměr stěny sila je po celé výšce 44,2m.

Stěna bude betonována postupně taženým bedněním, ve vodorovných pruzích vysokých 1,5m.

Předpětí do stěny je vnášeno kotevními žebry v každé čtvrtině stěny. Kotevní žebra probíhají po celé výšce stěny a mají půdorysný rozměr 5,1x0,6m. Kabely jsou kotveny ob jedno žebro. Předpínání bude probíhat současně v jednom předpínacím obvodu. Bude tedy zapotřebí 4 napínacích zařízení, každé o výkonu 5000kN.

Stěna sila byla posouzena na mezní stav únosnosti a použitelnosti.

## **3.5. ZASTŘEŠENÍ**

Střešní konstrukce má tvar komolého kužele se sklonem 35° a s vrcholovou lucernou pro zaústění dopravního mostu k plnění sila. Je tvořena svařovanými ocelovými příhradovými pruty a montována na stavbě.

Střešní konstrukci tvoří 36 radiálně umístěných příhradových vazníků s tangenciálně umístěnými příhradovými vaznicemi po 2,4m. Pro ztužení konstrukce jsou doplněny v každé třetině příhradová ztužidla. Vazníky jsou montovány na ocelové konzoly přivařené do požadované polohy ke kotevním plechům (OK1) monoliticky spojených se stěnou sila. Profily přírub příhradových prutů jsou čtvercové uzavřené průřezy a diagonály jsou kruhové. Celá střešní konstrukce bude po svaření v dílně ochráněna proti korozi žárovým zinkováním.

Lucerna je tvořena šesticí svislých sloupků s větrovými ztužidly a je zastřešena ocelovými krokvy.

Střešní konstrukce a stěny lucerny budou opláštěné sendvičovými panely *Ruukki SP2C PU tl. 210/170*.

Konstrukce bude navržena tak, aby zároveň plnila funkci únikového otvoru pro tlakovou vlnu případného výbuchu cukerného prachu uvnitř sila.

Konstrukce střechy byla vymodelována v programu Scia Engineer, kde byly optimalizovány průřezy pomocí funkce Autodesign. Následné reakce podpor byly požity do zatěžovacích stavů působících na silo.

### 3.6. POUŽITÉ MATERIÁLY

Dimenzované prvky:

Sloup (S1)

Beton **C30/37**

Betonářská ocel **B 500B-10 505(R)**

Deska (D1)

Beton **C30/37**

Betonářská ocel **B 500B-10 505(R)**

Ocelové výsyvky: nerezová ocel **EN 10 088 (17 240)**

Předpjatá stěna (ST2)

Beton **C30/37**

Betonářská ocel **B 500B-10 505(R)**

Předpínací ocel **Y-1860 S7-15,7-A**

Kanálky **HDPE**

Injektážní cementová malta **Freyssifix TX**

Kotva **19C15** (19-lanný kotevní systém Freyssinet)

Šroubovice: ocel **S235**

Kotevní plechy: konstrukční ocel **S235**

Střešní konstrukce

Konstrukční ocel **S235**

### 3.7. KRYTÍ

Velikost krytí je především ovlivněna vlivem prostředí, návrhovou životností konstrukce a průměrem výztuže.

Třída prostředí: **XC3** – beton uvnitř budov se střední vlhkostí vzduchu

Návrhová životnost: **50let (S4)**

Krytí bylo stanoveno ve statickém výpočtu.

Stěna (ST2) – c = 35mm

– 90mm pro kanálky předpínacího systému

Deska (D1) – pro ØR32 c = 45mm

– pro ØR28 c = 40mm

– jinak c = 35mm

Sloup (S1) – c = 35mm

## **4. ZATÍŽENÍ**

Zatížení a jejich kombinace byly spočteny dle ČSN EN 1991.

### **4.1. STÁLÉ ZATÍŽENÍ**

Jako stálé zatížení působící na konstrukci byla uvažována vlastní tíha konstrukce, tíha střešního pláště a dopravní most.

Jako stálé zatížení je uvažováno i předpětí.

Viz statický výpočet, příloha P4.

### **4.2. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ**

#### Užitné zatížení

Užitné zatížení tvoří skladovaný cukr. Účinky od náplně na konstrukci sila byly spočítány dle ČSN EN 1991-4.

#### Zatížení teplotou

Byly vytvořeny 3 zatěžovací stavy v provozním stádiu konstrukce. Stanovení zatížení od teploty bylo stanoveno dle ČSN EN 1991-1-5.

#### Zatížení sněhem

Výpočet zatížení sněhem proveden dle ČSN EN 1991-1-3. Silo se nachází v areálu cukrovaru v Českém Meziříčí a spadá do II. sněhové oblasti dle národní přílohy normy.

Viz statický výpočet, příloha P4.

## **5. TECHNOLOGICKÉ PODMÍNKY**

Konstrukce budou realizovány dle standardních postupů při výstavbě, nepředpokládá se použití zvláštních technologií. Při provádění konstrukcí musí být dodrženy max. dovolené odchylky podle ČSN EN 13670-1.

## **6. POŽADAVKY NA KONTROLU ZAKRÝVANÝCH KONSTRUKCÍ**

Veškeré zakrývané konstrukce budou před zakrytím a zabudováním převzaty technickým dozorem investora, který zkontroluje zda-li je vše provedeno dle PD a provede zápis do stavebního deníku. V případě potřeby bude provedeno i převzetí zodpovědným projektantem dané části.

## 7. ZÁVĚR

Byla navržena nosná konstrukce vybraných částí novostavby sila na cukr. Bylo stanoveno zatížení působící na konstrukci dle platných norem, především působení náplně. Výpočet vnitřních sil od zatížení byl proveden výpočtovým programem Scia Engineer 2013.1. Byla navržena výztuž a konstrukce byla posouzena na mezní stav únosnosti a použitelnosti.

Stěna sila byla v průběhu návrhu a posouzení optimalizována a přizpůsobena technickým požadavkům na funkčnost. Výsledkem je stěna předepnutá pouze ve vodorovném směru a s kloubovým uložením v patě stěny. Vodorovné předpětí je tvořeno 19-lanným předpínacím systémem Freyssinet. Předpětí je navrženo tak, aby během životnosti konstrukce nebyla překročena mezní únosnost betonu v tahu.

Součástí diplomové práce je výkresová dokumentace, vizualizace, postup výstavby a statický výpočet.

## 8. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

### Podklady (viz příloha P1)

- [1] *Výkresová dokumentace – Silo na cukr 50.000t., projekt č. ST 1220, Říjen 2012, 3 výkresy (.dwg), výkres č.: CU1236P, CU1257P a CU1258P, ProjectSoft HK a.s.*
- [2] SHP zadání pro studii – ověření dimenzování konstrukce sila.doc, 3strany.
- [3] Hoffman, P.(část 1), Kavan, V. (část 2), Podklad k nabídce na realizaci akce: „Výstavba sila na cukr – 50 000t cu České Meziříčí část, 1 – topení sila, část 2 – provětrávací okruh, 17. května 2013 Praha, 16 stran.

### Normové předpisy

- [4] ČSN EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, Praha: ČNI, 2004, 76 stran.
- [5] ČSN EN 1991-1-1: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, Praha: ČNI, 2004, 44 stran.
- [6] ČSN EN 1991-1-5: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou, Praha: ČNI, 2005, 44 stran.
- [7] ČSN EN 1991-1-3 ed.2: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení – Zatížení sněhem, Praha: ÚNMZ, 2013, 52 stran.
- [8] ČSN EN 1991-4 ed.2: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 4: Zatížení zásobníků a nádrží, Praha: ÚNMZ, 2013, 98 stran.
- [9] ČSN EN 1992-1-1 ed.2: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, Praha: ÚNMZ, 2011, 202 stran.



- [10] ČSN EN 1992-3: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 3: Nádrže na kapaliny a zásobníky, Praha: ČNI, 2007, 24 stran.

#### Publikace

- [11] ZICH, M., Bažant Z., a Plošné betonové konstrukce, nádrže a zásobníky, Brno: CERM, 2010, 161 s. ISBN: 978-80-7204-693-5.
- [12] ZICH, Miloš.. *Příklady posouzení betonových prvků dle Eurokódů*. Praha: Verlag Dashofer, nakladatelství, 2010. 145 s. ISBN: 978-80-86897-38- 7.
- [13] NAVRÁTIL, Jaroslav: Předpjaté betonové konstrukce. Brno: CERM, 2008, 186s , ISBN 978-80-7204-561-7
- [14] PROCHÁZKA, Jaroslav. a kol. *Navrhování betonových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-1-2*. 1. vyd. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. 338 s. Technická knihnice. ISBN 978-80-87438-03-9.

#### Jiné diplomové práce

- [15] Bc. Martin Štramberský *Návrh předpjaté nádrže*. Brno, 2014. 27s., 284s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D..
- [16] Bc. Tomáš sekanina *Projekt sila na cement*. Brno, 2011. 20 s., 158 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Miloš Zich, Ph.D..

#### Software

- [17] AutoCad 2010
- [18] Scia Enginer 2012
- [19] Microsoft Word 2007
- [20] Microsoft Excel 2007
- [21] SketchUp 2015

#### Internet

- [22] FREYSSINET CS, a.s., Dostupné z: <http://www.freyssinet.cz/>
- [23] Ing. Michálek Ladislav, Výstavba skladových kapacit – Loukov, článek v internetovém časopise Konstrukce, publikováno 20. 5. 2013, dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/vystavba-skladovych-kapacit-loukov/>
- [24] Slipform Systems Austria, Dostupné z: <http://www.slipform-austria.com/ru/gleitschalung/zylyndrische-gleitschalung/>
- [25] Mapy google, Dostupné z: <https://maps.google.cz/>

## 9. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

### SYMBOLY LATINSKÉ ABECEDY

$A$	plocha průřezu zásobníku se svislými stěnami
$A_c$	plocha vodorovného řezu tokového kanálu, plocha betonového průřezu
$A_{c,osl}$	plocha betonu oslabeného kanálkem a výztuží
$A_i$	ideální plocha průřezu s předpínací výztuží
$A_{i0}$	ideální plocha průřezu před předpínáním
$a_k$	převodní součinitel pro poměr bočních tlaků
$A_p$	plocha předpínací výztuže na délku stěny
$A_{p1}$	průřezová plocha jednoho předpínacího lana
$A_s$	plocha betonářské výztuže
$A_{s,max}$	maximální plocha betonářské výztuže
$A_{s,min}$	minimální plocha betonářské výztuže
$A_{s,rqd}$	minimální plocha výztuže pro únosnost
$A_{si}$	plocha betonářské výztuže vnitřní povrch
$A_{sl}$	plocha podélné tahové výztuže
$A_{so}$	plocha betonářské výztuže vnější povrch
$A_{sw}$	plocha smykové výztuže
$a_\mu$	převodní součinitel pro součinitel tření o svislou stěnu
$b$	šířka průřezu
$c$	návrhová hodnota krycí vrstvy
$C_b$	součinitel zvětšující zatížení dna
$C_e$	součinitel expozice
$c_{min}$	minimální krycí vrstva
$c_{nom}$	jmenovitá nominální hodnota krycí vrstvy
$C_o$	součinitel vyprazdňování
$C_{op}$	referenční součinitel místního zatížení
$C_{pf}$	součinitel místního zatížení při plnění
$C_t$	tepelný součinitel
$C_w$	součinitel tahové složky tření o stěnu při vyprazdňování
$d$	účinná výška průřezu
$d_c$	vnitřní průměr sila
$d_p$	průměr předpínací výztuže
$E$	poměr výstřednosti tokového kanálu k průměru zásobníku
$e_c$	výstřednost středu tokového kanálu
$E_{cd}$	návrhový modul pružnosti betonu
$e_f$	výstřednost navršeného materiálu
$e_o$	výstřednost středu výpusti
$e_{ocr}$	maximální výstřednost výpusti
$E_p$	návrhová hodnota modulu pružnosti předpínací oceli
$E_s$	modul pružnosti betonářské oceli
$f_{bd}$	mezní napětí v soudržnosti

$f_{cd}$	návrhová pevnost betonu v tlaku
$f_{ck}$	charakteristická pevnost betonu v tlaku
$f_{ctd}$	návrhová pevnost betonu v tahu
$f_{ctm}$	pevnost betonu v tahu
$f_{p,max}$	maximální napětí při napínání
$f_{Pd}$	návrhová mez kluzu předpínací oceli
$f_{Pk}$	charakteristická pevnost předpínací oceli v tahu
$f_{Pk0,1}$	charakteristická smluvní mez kluzu 0,1% předpínací oceli
$f_{yd}$	návrhová mez kluzu oceli
$f_{yk}$	charakteristická mez kluzu oceli
$G$	poměr poloměru tokového kanálu k poměru kruhového zásobníku
$g_0$	zatížení vlastní tíhou
$h$	výška průřezu, šířka stěny
$h_0$	hloubka základny navršeného materiálu pod ekvivalentním povrchem
$h_b$	celková výška zásobníku od vrcholu výsypky k ekvivalentnímu povrchu
$h_c$	výška části zásobníku se svislými stěnami od přechodu k ekvivalentnímu povrchu
$h_{tp}$	celková výška navršeného materiálu
$C_h$	součinitel vodorovného tlaku při vyprazdňování
$k$	úhel nepředvídaného zakřivení kanálu
$K_{dol}$	dolní hodnota poměru bočních tlaků
$K_{hor}$	horní hodnota poměru bočních tlaků
$K_m$	průměrná hodnota poměru bočních tlaků
$l_0$	návrhová přesahová délka
$l_{0,min}$	minimální přesahová délka
$l_{b,rqd}$	základní kotevní délka
$l_{bd}$	návrhová kotevní délka
$l_{bd,min}$	minimální kotevní délka
$M_{Ed}$	návrhový moment od zatížení
$M_{Rd}$	moment na mezi únosnosti
$m_x$	měrný ohybový moment ve směru x
$mxD$	dimenzační moment ve směru x
$m_y$	měrný ohybový moment ve směru y
$myD$	dimenzační moment ve směru y
$n$	mocnina ve vztahu pro tlak ve výsypce
$n$	počet lan v jednom kabelu
$N^0$	tahová síla pro stav dekomprese
$N_{ed}$	návrhová normálová síla od zatížení
$N_{Rd}$	celková únosnost průřezu v tahu
$n_x$	měrné normálové napětí ve směru x
$n_y$	měrné normálové napětí ve směru y
$n_{zSk}$	charakteristická výslednice svislých napětí na jednotku obvodu
$\varnothing_{1k}$	průměr kanálu
$\varnothing_{si}$	průměr výztuže vnitřní povrch
$\varnothing_{so}$	průměr výztuže vnější povrch

$p$	tlak
$P_0$	předpínací síla po zakotvení
$p_1$	průměrná ztráta předpětí třením v přímé části na jednotku délky
$P_{1\infty}$	síla v 1 laně po dlouhodobých ztrátách
$p_2$	průměrná ztráta předpětí třením v zakřivené části na jednotku délky
$p_h$	vodorovný tlak vyvozený skladovaným zrnitým materiálem vodorovný tlak v nehybném materiálu přilehlém k tokovému kanálu při výstředném vyprazdňování
$p_{hae}$	vyprazdňování
$p_{hce}$	vodorovný tlak v tokovém kanálu při výstředném vyprazdňování asymptotický vodorovný tlak v hloubce tokového kanálu při výstředném vyprazdňování
$p_{hco}$	vyprazdňování
$p_{he}$	vodorovný tlak při vyprazdňování
$p_{hf}$	vodorovný tlak při plnění zásobníku
$p_{ho}$	asymptotický vodorovný tlak ve velké hloubce vodorovný tlak v nehybném materiálu vzdálenému od tokového kanálu při výstředném vyprazdňování
$p_{hse}$	výstředném vyprazdňování
$p_{pf}$	místní tlak při plnění zásobníku
$p_{vb}$	svislý tlak u základny nízkých zásobníků
$p_{vf}$	svislé napětí ve skladovaném materiálu při plnění zásobníku
$p_{vho}$	svislý tlak u základny navršeného materiálu
$p_{vsq}$	svislý tlak působící na ploché dno
$p_{vtp}$	geostatický svislý tlak u základny navršeného materiálu smykové napětí v nehybném materiálu přilehlému k tokovému kanálu při výstředném vyprazdňování
$p_{wae}$	vyprazdňování
$p_{wce}$	smykové napětí na stěně přilehlé k tokovému kanálu při výstředném vyprazdňování
$p_{we}$	smykové napětí na stěně při vyprazdňování
$p_{wf}$	smykové napětí na stěně naplněného zásobníku vlivem tření smykové napětí v nehybném materiálu vzdáleným od tokového kanálu při výstředném vyprazdňování
$p_{wse}$	vyprazdňování
$r$	vnitřní poloměr sila, poloměr zakřivení kabelu
$R$	tepelný odpor
$r_c$	poloměr výstředného tokového kanálu
$r_{in}$	vnitřní průměr sila
$r_v$	vzdálenost výsypek (rastr)
$s$	zatížení sněhem na střeše
$S$	vzdálenost vložek
$S_k$	charakteristická hodnota zatížení sněhem
$S_{max}$	maximální vzdálenost výztužných vložek
$S_p$	osová vzdálenost kabelů
$S_{si}$	vzdálenost výztuže vnitřní povrch
$S_{so}$	vzdálenost výztuže vnější povrch
$t_0$	čas těsně po zakotvení předpínacích kabelů
$T_0$	výchozí teplota, při které je prvek zabudován
$t_{0\infty}$	čas na konci životnosti konstrukce
$T_{in}$	teplota vnitřního prostředí
$T_{max}$	maximální teplota ve stínu

$T_{min}$	minimální teplota vzduchu ve stínu
$T_{out}$	teplota vnějšího prostředí
$U$	vnitřní obvod vodorovného řezu zásobníku
$U_{sc}$	vnitřní obvod výtokového kanálu k statickému styku materiálu
$U_{wc}$	vnitřní obvod výtokového kanálu
$V_{Rd}$	návrhová posouvající síla
$v_x$	měrná posouvající síla ve směru x
$v_y$	měrná posouvající síla ve směru y
$w$	pokluz
$x$	délka přímé části od kotvy, výška tlačené části průřezu
$x_w$	délka kabelu, na které vymizí pokluz
$Y_{J(z)}$	variační funkce hloubky Janssenova tlaku
$Y_R$	variační funkce hloubky tlaku v nízkém zásobníku hloubka pod ekvivalentním povrchem materiálu v naplněném zásobníku, rameno
$z$	vnitřních sil
$z_0$	Janssenova charakteristická hloubka
$z_{oc}$	Janssenova charakteristická hloubka pro tokový kanál při výstředném vyprazdňování
$z_v$	hloubka užívaná pro stanovení svislého napětí

#### SYMBOLY ŘECKÉ ABECEDY

$\emptyset$	sytný úhel
$\emptyset_s$	průměr výztuže
$\alpha$	sklon střechy, úhel
$\alpha_1$	součinitel tvaru prutů
$\alpha_2$	součinitel pro krycí vrstvu
$\alpha_3$	součinitel ovinutí příčnou výztuží
$\alpha_4$	součinitel ovinutí přivařenou příčnou výztuží
$\alpha_5$	součinitel ovinutí příčným tlakem
$\alpha_6$	součinitel procenta stykování výztuže
$\alpha_p$	poměr modulů pružnosti předpínací oceli a betonu
$\alpha_s$	poměr modulů pružnosti betonářské oceli a betonu
$\gamma$	objemová tíha
$\gamma_1$	objemová tíha ztekuceného materiálu
$\gamma_c$	dílčí součinitel betonu
$\gamma_s$	dílčí součinitel betonářské nebo předpínací oceli
$\Delta$	rozdíl
$\Delta N_p$	zbytková únosnost předpínací výztuže
$\Delta N_s$	zbytková únosnost v betonářské oceli
$\Delta \sigma$	ztráta předpětí
$\Delta \sigma_p$	zbytkové napětí pro únosnost v tahu
$\Delta \sigma_s$	zbytkové napětí pro únosnost v tahu
$\Delta \sigma_w$	ztráta napětí od pokluzu
$\epsilon_0$	přetvoření ideálního průřezu po zakotvení

$\epsilon_{c3}$	poměrné stlačení betonu při dosažení maximálního napětí
$\epsilon_{Cu3}$	mezní poměrné stlačení betonu
$\epsilon_{pRd}$	přetvoření v předpínací výztuži po dosažení únosnosti (plné působení betonářské výztuže)
$\epsilon_S$	přetvoření ve výztuži
$\epsilon_{ud}$	mezní poměrné přetvoření předpínací výztuže
$\epsilon_{yd}$	návrhové přetvoření ve výztuži
$\eta_1$	součinitel podmínky soudržnosti
$\eta_2$	součinitel průměru výztuže
$\theta_c$	úhel styku stěny a výstředného tokového kanálu
$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti
$\mu$	tvárový součinitel zatížení sněhem, součinitel tření o svislou stěnu, koeficient tření kanálu
$\sigma$	napětí
$\sigma_p^0$	základní napětí v předpínací výztuži v dekompresi
$\sigma_s^0$	napětí v betonářské oceli v dekompresi
$\sigma_c$	tlakové napětí
$\sigma_{cp0}$	napětí v průřezu
$\sigma_{p,max}$	maximální přípustné napětí při předpínání
$\sigma_{pm0}$	maximální napětí po vnesení předpětí do betonu
$\sigma_{pm0,max}$	maximální přípustné napětí po vnesení předpětí do betonu
$\sigma_{pm\infty}$	napětí v předpínací oceli po dlouhodobých ztrátách
$\sigma_{sd}$	návrhové napětí ve výztuži
$\sigma_t$	tahové napětí
$\sigma_x$	napětí ve směru x
$\sigma_y$	napětí ve směru y
$\psi$	úhel styku stěny a výstředného tokového kanálu měřený ze středu tokového kanálu

#### POUŽITÉ ZKRATKY A DALŠÍ SYMBOLY

ZS	Zatěžovací stav
MSP	mazní stav únosnosti
MSÚ	mezní stav použitelnosti
tl.	Tloušťka
-	značka vnitřního/spodního líce
+	značka vnějšího/horního líce

## 10. SEZNAM PŘÍLOH

### P1 POUŽITÉ PODKLADY

Výkresová dokumentace ProjectSoft HK a.s. <sup>[1]</sup>

Výkres č. CU 1236 P – ZASTAVOVACÍ SITUACE (M1:1000) 2A4

Výkres č. CU 1257 P – ZDROJE HLUKU – PŮDORYS (M1:500) 2A4

Výkres č. CU 1258 P – ZDROJE HLUKU – POHLED (M1:500) 2A4

SHP zadání pro studii<sup>[2]</sup> 3 str.

Podklad k nabídce na realizaci akce<sup>[3]</sup>

SCHEMA TOPENÍ PROVĚTRÁVÁNÍ A ASPIRACE 1A4

NÁVRH VÝSYPEK A KANÁLKŮ 1A4

### P2 VÝKRESY

P2.01 VÝKRES TVARU DNA A PŘEDPJATÉ STĚNY SILA (M1:100) 18xA4

P2.02 VÝKRES PŘEDPÍNACÍCH KABELŮ (M1:100) 18xA4

P2.03 VÝKRES VÝZTUŽE STĚNY SILA – ST2 (M1:50) 12xA4

P2.04 VÝKRES VÝZTUŽE DNA (DESKA D1) (M1:100) 12xA4

P2.05 VÝKRES VÝZTUŽE SLOUPU – S1 (M1:25) 6xA4

### P3 STAVEBNÍ POSTUP A VIZUALIZACE

15 str.

### P4 STATICKÝ VÝPOČET

105 str.